



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Peeter Aadusoo

**PNEUMAATILISE JÄRJESTIKLÜLITUSEGA
KÄIGUVAHETUSMEHCHANISMI LAHENDUS H –
LÜLITUSEGA KÄIGUKASTILE**

**A PNEUMATIC SEQUENTIAL GEAR SHIFTING MECHANISM
SOLUTION FOR A H – PATTERN GEARBOX**

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Marten Madissoo, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Peeter Aadusoo		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Pneumaatilise järjestiklülitusega käiguvahetusmehhanismi lahendus H – lülitusega käigukastile			
Lehekülgi: 40	Jooniseid: 27	Tabeleid: 1	Lisasid: 0
Õppetool: Biomajandustehnoloogiaste õppetool ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika ETIS teaduseriala: 4.13. Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia CERCS kood: T125 Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnoloogia Juhendaja: Marten Madisoo, <i>PhD</i> Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Käesolev bakalaureusetöö käsitleb pneumaatilise järjestiklülitus käiguvahetusmehhanismi tootearendust, mille käigus selgitatakse välja mehhanismi ehitamiseks vajalikud komponendid. Töö eesmärgiks on pakkuda H – lülitusega manuaalkäigukastile pneumaatiline järjestiklülitusega käiguvahetusmehhanismi lahendus. Selline lahendus aitab vähendada käiguvahetusel tehtavaid vigu ja käiguvahetustele kuluvat aega. Pneumaatilised komponendid ja nende juhtimiseks vajalikud kontrollid on tänapäeval laialdaselt kättesaadavad, mistõttu saab iga huviline endale sellise lahenduse ehitada. Enne mehhanismi komponentide valikut esitati projekteeritavale mehhanismile mõningased nõuded. Arvestades esitatud nõudeid valiti mehhanismi ehitamiseks vajalikud komponendid ja juhtseadmed. Töö käigus sooritati laborikeskkonnas mehhanismi tööd imiteeriv katse, mille käigus selgus, et projekteeritav käiguvahetusmehhanism on teostatav. Autor plaanib töös käsitletud lahenduse valmis ehitada.</p>			
Märksõnad: pneumaatika, järjestiklülitus, käigukast,			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Peeter Aadusoo		Speciality: Production Engineering	
Title: A pneumatic sequential gear shifting mechanism solution for a H – pattern gearbox			
Pages: 40	Figures: 27	Tables: 1	Appendixes: 0
Chair: Biosystems Engineering ETIS category: 4. Natural Sciences and Engineering ETIS speciality: 4.13. Mechanical Engineering, Automation Technology and Manufacturing Technology CERCS speciality: T125 Automation, robotics, control engineering Supervisor: Marten Madisoo, <i>PhD</i> Place and date: Tartu 2018			
<p>This Bachelor's Thesis is about the product development of a pneumatic sequential gear shifting mechanism. During the product development, the necessary components will be found out in order to build the mechanism. The main purpose of this thesis is to offer a pneumatic sequential gear shifting mechanism solution for a H-pattern gearbox. This solution helps to minimize errors, which are made during gear shifting process and also to reduce the gear shifting time. Pneumatic components and their control units are nowadays widely available, which is why all interested people can build this solution themselves. Before the components of this mechanism were chosen, some requirements were presented. Considering these requirements, necessary components and control units were chosen for building mentioned mechanism. An experiment was carried out in laboratory environment during this research. As a result of this experiment, it was found out, that the solution of the gear shifting mechanism is achievable. The author of this thesis plans to build the mechanism which was projected during this study.</p>			
Keywords: pneumatics, sequential shifting, gearbox			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ÜLEVAADE MOOTORSÕIDUKI KÄIGUKASTIDEST	6
1.1. Käigukast	6
1.2. Automaatkäigukast	6
1.3. Planetaar-automaatkäigukast	6
1.4. Variaatorkäigukast (CVT)	7
1.5. Topeltsiduriga käigukast (DCT ehk DSG)	8
1.6. Manuaalkäigukast	10
2. MEHCHANISMI MEHAANILISED KOMPONENDID	12
2.1. Töö eesmärgi kirjeldus	12
2.2. Nõuded projekteeritavale lahendusele	14
2.3. Mehhanismi ehitamiseks vajalikud komponendid	15
2.3.1. Pneumaatilised silindrid	15
2.3.2. Suruõhukompressor	18
2.3.3. Jaoturid	20
2.3.4. Muud komponendid	21
3. MEHCHANISMI JUHTIMIS KOMPONENDID	24
3.1. Mikrokontroller	24
3.2. Silindrite positsiooniandurid	25
3.3. Käikude lülitus	27
3.4. Indikaator käikude kuvamiseks	27
3.5. Alalispingemuundur	28
3.6. Juhtimiskeemid	29
3.7. Katse laborikeskkonnas	31
3.8. Käikude lülitus	32
KOKKUVÕTE	33
KASUTATUD KIRJANDUS	35
SUMMARY	38
LIHTLITSENTS	40

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on pakkuda H – lülitusega manuaalkäigukastile pneumaatiline järjestiklülitusega käiguvahetusmehhanismi lahendus. Selline mehhanism aitab vähendada käiguvahetusel tehtavaid vigu ja käiguvahetustele kuluvat aega. Pneumaatilise lahenduse kasuks otsustati seetõttu, et pneumaatilised komponendid ja nende juhtimiseks vajalikud kontrollid on tänapäeval laialdaselt kättesaadavad, mistõttu saab iga huviline endale sellise lahenduse ehitada. Käesoleva töö raames on projekteeritavale käiguvahetusmehhanismi lahendusele seatud eesmärgiks selle universaalsus, st lahendus tuleb projekteerida selliselt, et lõplik mehhanism oleks rakendatav erinevat tüüpi H – lülitusega manuaalkäigukastide korral.

Käesoleva töö eesmärgi saavutamiseks tuleb lahendada järgnevad ülesanded:

1. Tutvuda erinevat tüüpi käigukastidega.
2. Uurida võimalusi järjestiklülituse saavutamiseks.
3. Tutvuda pneumaatiliste komponentidega.
4. Valida vajalikud komponendid seadme ehitamiseks.
5. Leida viis mehhanismi juhtimiseks ja valida selleks vajalikud komponendid.
6. Katsetada mehhanismi tööpõhimõtet laborikeskkonnas.

Töö on jaotatud kolmeks peatükiks, millest esimeses antakse ülevaade erinevat tüüpi käigukastidest ning nende olemusest. Teises peatükis kirjeldatakse täpsemalt töö eesmärki ning tuuakse välja pakutavale lahendusele esitatavad nõuded. Esitatakse sobilikud mehaanilised komponendid, mille valikul on arvestatud eelnevalt lahendusele esitatud nõudeid. Kolmandas peatükis esitatakse mehhanismi juhtimiseks vajalik kontrollid ja teised juhtimist puudutavad komponendid ning teostatakse mehhanismi tööpõhimõtte katsetus laborikeskkonnas.

1. ÜLEVAADE MOOTORSÕIDUKI KÄIGUKASTIDEST

1.1. Käigukast

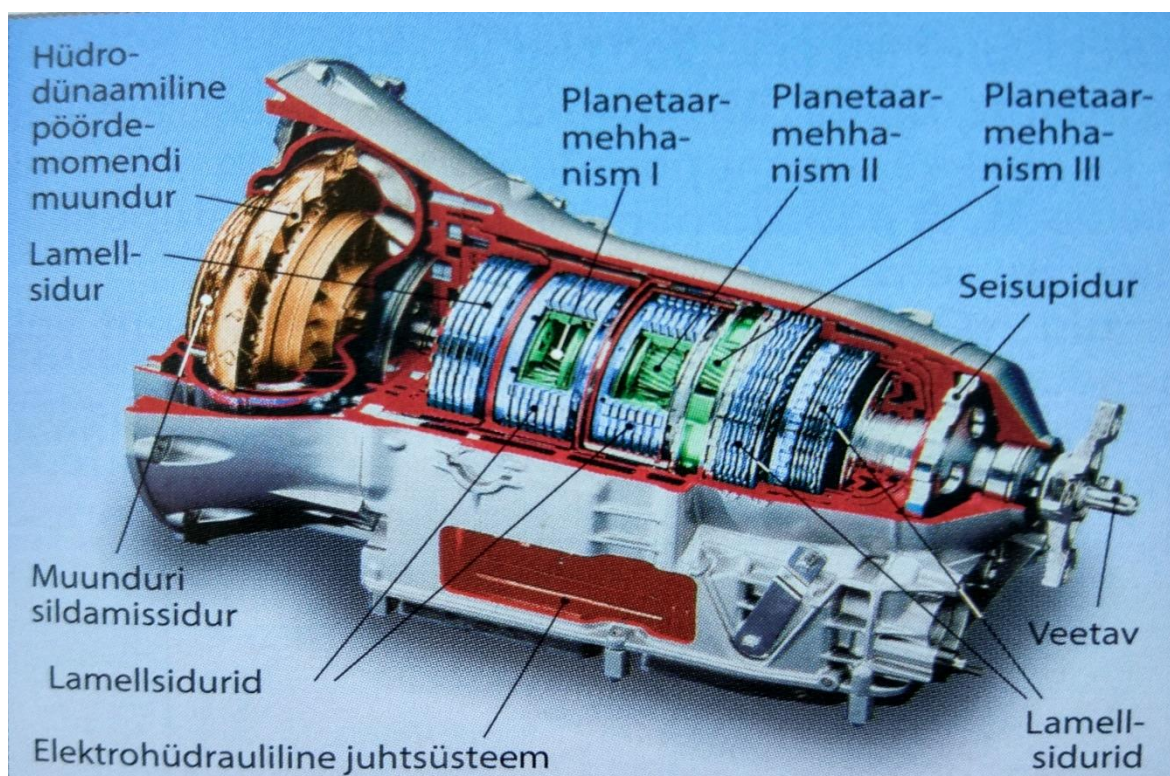
Käigukastina mõeldakse tavaliselt mehaanika koostu, mille ülesandeks on sõiduki mootori poolt toodetud mehaanilise energia edasi suunamine veovõllidele või kardaanile ja sealt edasi lõpuks ratasteni. Sisendi saab käigukast mootorilt läbi siduri ning olenevalt valitud käigust kas vähendatakse või suurendatakse edasi antavat jõudu. Olenemata asjaolust, et käigukaste on mitmeid erinevaid tüüpe on neil kõigil ühine omadus – veosuuna muutmise võimalus ehk tagurpidi käik [1].

1.2. Automaatkäigukast

Käigukasti, kus käigu vahetamine toimub automaatselt olenevalt sõiduki mootori pöörelemiskiirusest, nimetatakse automaatkäigukastiks. Automaatkäigukastide puhul võib eristada täis- ja poolautomaatseid käigukaste. Täisautomaatses käigukastis toimub jõuülekande ühendamine või katkestamine automaatselt. Käigu vahetamine ülekandesuhte ja pöörlemissuuna muutmiseks toimub automatiseeritud elektropneumaatilise või elektrohüdraulilise juhtsüsteemiga. Poolautomaatses käigukastis kasutatakse jõuülekande ühendamiseks või katkestamiseks automaatset sidurisüsteemi, mis tagab automaatse siduri ühendamise ja lahutamise. Käigu vahetamine ja pöörlemissuuna muutmine toimub aga käsitsi kasutades käigukangi [2]. Automaatkäigukasti puhul puuduvad käiguvahetus vead täielikult.

1.3. Planetaar-automaatkäigukast

Planetaar-automaatkäigukasti puhul on tegu kõige levinuima täisautomaatse käigukastiga, mille alguseks loetakse 1940-ndaid aastaid. Võrreldes algselt kasutusele tulnud nelja käigulist käigukasti on praeguseks hetkeks saadaval kuue kuni üheksa käigulisi planetaar-automaatkäigukaste. Erinevate käikude saavutamiseks kasutatakse käigukastis erinevaid planetaarmehhanisme, mis on omavahel seotud siduritega (joonis 1).

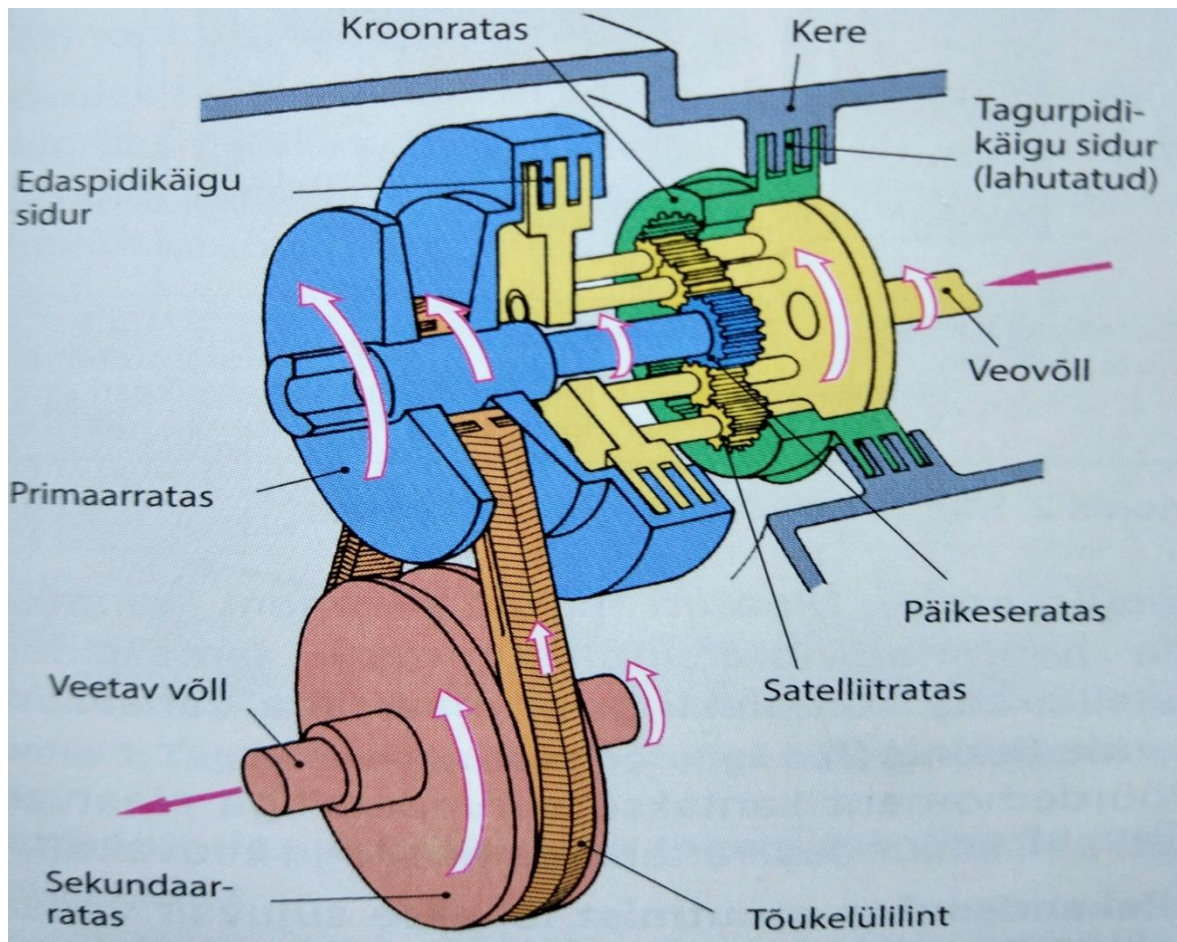


Joonis 1.1. Viiekäigulise planetaar-automaatkäigukasti ehitus. [2]

Seda tüüpi käigukasti negatiivseteks külgedeks on keeruline ehitus, mille tõttu on nende tootmine ja remontimine kallis. Positiivseteks külgedeks on suur momenditaluvus ja mugav paigalt ära sõitmine. Paljudel planetaar-automaatkäigukastidel on lisaks manuaalne käikude üles ja alla lülitamise võimalus ehk „+ -“ režiim. Selline funktsioon on kasutusel paljude autotootjate poolt, kes kasutavad funktsiooni nimetamiseks erinevaid termineid, näiteks: BMW – *Steptronic*, Mercedes – *G-Tronic*, VW Grupp – *Tiptronic* [3].

1.4. Variaatorkäigukast (CVT)

Erinevalt teistest käigukastidest ei kasutata variaatorkäigukastis jõu ülekandmiseks hammasrattaid, vaid kummist või metallist rihma, mis jookseb üle läbimõõtu muutvate rihmarataste (joonis 2). Hoidmaks rihma optimaalse surve all suurendab üks rihmaratas oma läbimõõtu samal ajal kui teine rihmaratas vähendab oma läbimõõtu täpselt sama palju. Selline toiming tagab täpselt samasuguse efekti, mis toimub erinevate diameetritega hammasrattaste vahel [4].



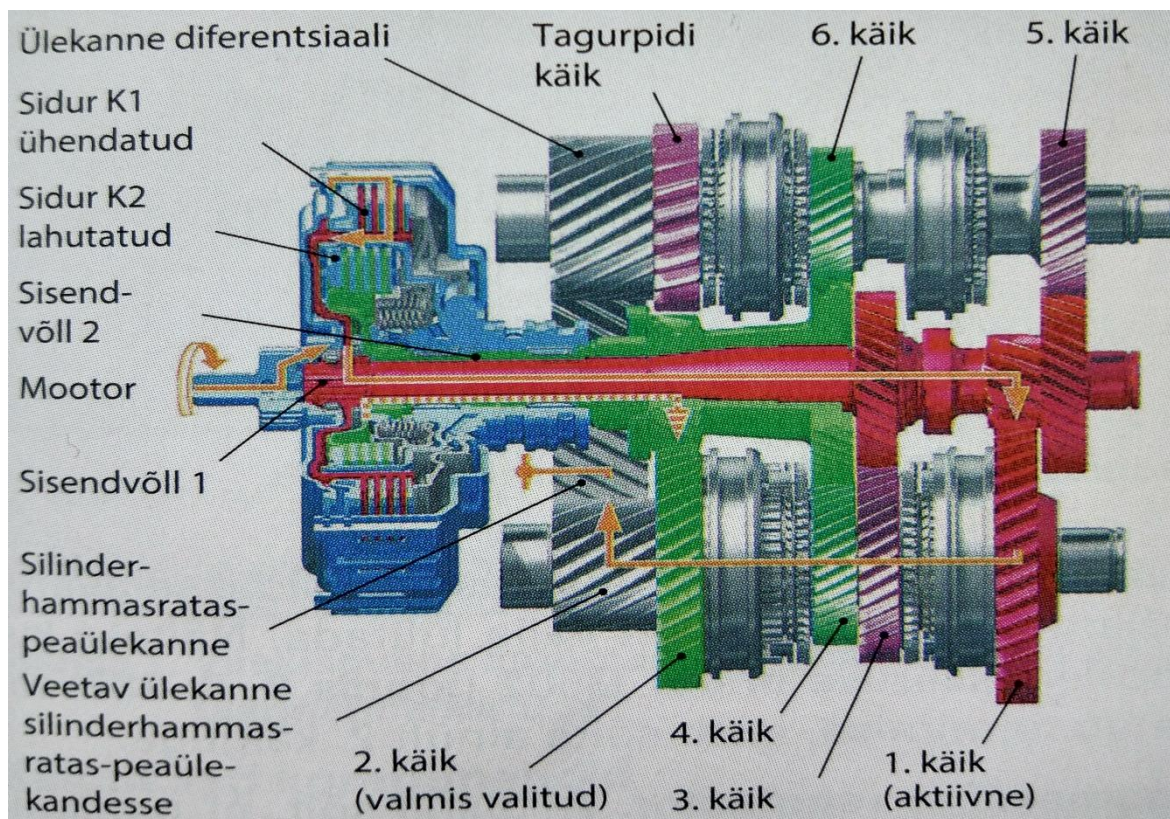
Joonis 1.2. Variaatorkäigukasti ehitus. [2]

Sujuva vedava ja veetava rihmaratta diameetri muutmisega võimaldatakse sellisel käigukastil lõpmata hulk erinevaid käike. Selline toiming tagab sujuvad käiguvahetused mida ei ole tunda. Variaatorkäigukastide eeliseks on madal kütusekulu, mille tagab juhtplokk, mis seadistab automaatselt optimaalseima ülekande. Lisaks on nad efektiivsemad kui tavalised planetaar-automaatkäigukastid ning neid on odavam toota. Puuduseks on piiratud momenditaluvus. Autotootjad kasutavad selle käigukasti nimetamisel erinevaid nimetusi nagu näiteks: Audi – *Multitronic*, Nissan – *Xtronic*, Mercedes – *Autotronic*. Peamiselt kasutatakse variaatorkäigukaste väiksemates sõidukites, kus kasutatakse nõrgemaid mootoreid ja üritatakse saavutada madalat kütusekulu [5].

1.5. Topeltsiduriga käigukast (DCT ehk DSG)

DSG käigukasti puhul on tegemist automaatkäigukastiga, mis koosneb sisuliselt kahest manuaalkäigukastist moodustades ühe tervikliku käigukasti. Kasutusel on kaks sidurit, st

mõlemal käigukastil on eraldi sidur. Sidurite puhul kasutatakse kas märga sidurit, mis on õli sees jahutuse eesmärgil, või käigukastist väljapool asuvat kuiva sidurit. Käigud on jaotatud kahe käigukasti vahel sellisel moel, et ühel sisendvõllil paiknevad paaritud käigud 1, 3, 5 koos tagurpidi käiguga ja teisel sisendvõllil paiknevad paaris käigud 2, 4, 6 (joonis 3).

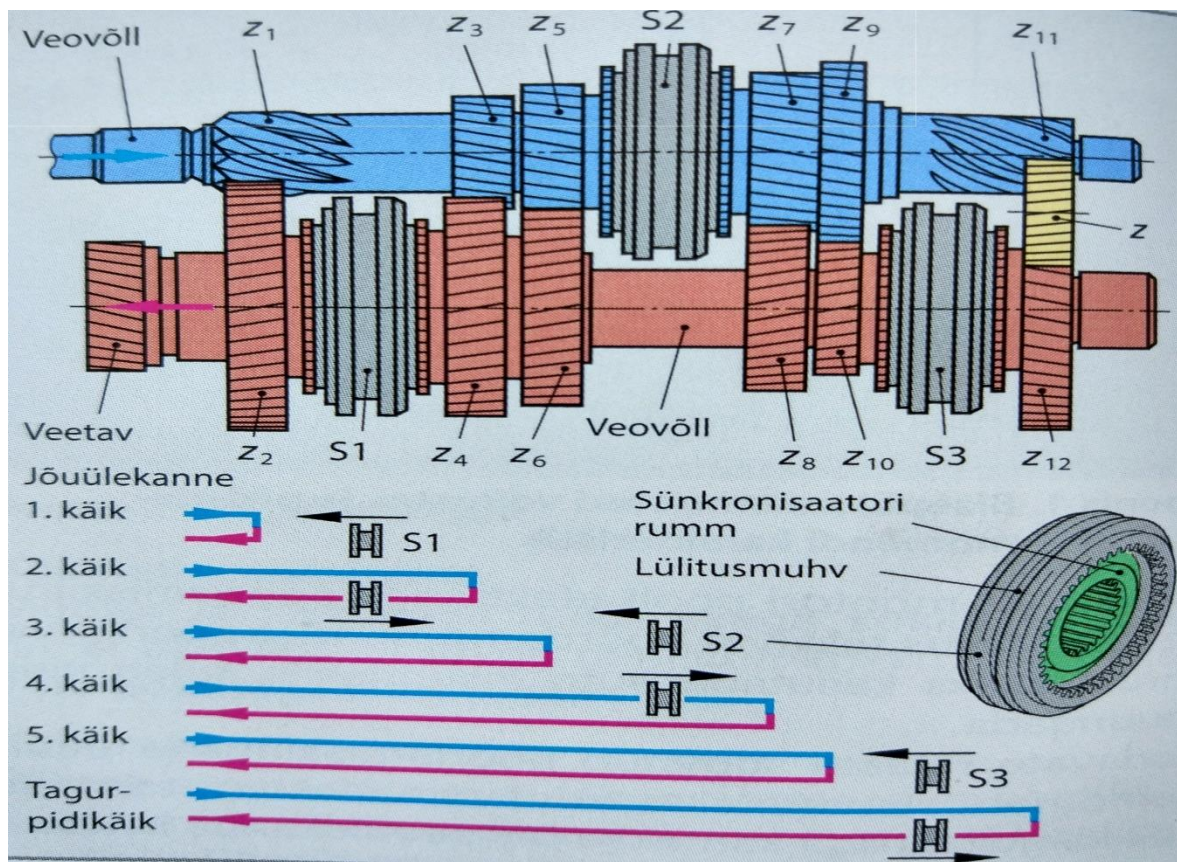


Joonis 1.3. Topeltsiduriga käigukasti ehitus. [2]

Näiteks kui ühes käigukastis on sisse lülitatud 3 käik, siis teises käigukastis on olenevalt sõiduki kiirusele sisse lülitatud samaaegselt 2 või 4 käik. See tähendab, et järgmine käik on juba enne järgmist käiguvahetust sisse lülitatud ja toimub ainult sidurdamine. Sidurdamise käigus vabastatakse ühes käigukastis sidur, samal ajal kui teises see ühendatakse. Selline lahendus võimaldab väga kiireid ja sujuvaid käiguvahetusi. Lisaks kiiretele ja sujuvatele käiguvahetustele on DSG käigukasti eeliseks selle väiksed mõõtmed ja mass ning odav tootmishind. Miinusteks selliste käigukastide puhul on tihedad remondi- ja hooldustööd. Täpselt nagu teiste käigukastide tüüpide puhul kasutavad erinevad autotootjad eri nimetusi sellise käigukasti nimetamisel, näiteks: Audi – *S-Tronic*, BMW – *DualTronic*, VW Grupp – DSG [6].

1.6. Manuaalkäigukast

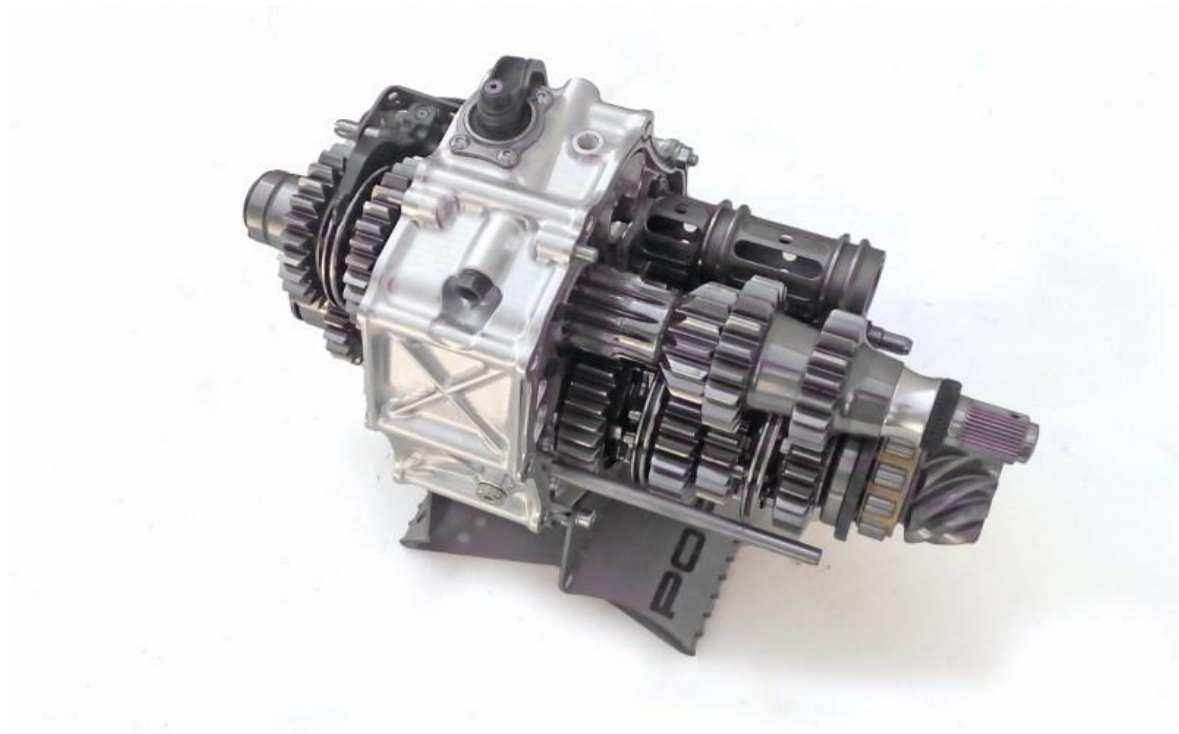
Manuaalkäigukasti puhul toimuvad käikude sisse lülitamised manuaalselt, kasutades selleks käigukangi. Seda tüüpi käigukastil on siduri käsitlemiseks eraldi pedaal, mida juht peab ise vajutama enne käikude sisse või välja lülitamist käigukangi abil. Tänapäeval on enamlevinud manuaalkäigukastidel kas viis või kuus edaspidi käiku ja üks tagurpidikäik ning käigud paiknevad „H“ asetusel [4]. Enamus manuaalkäigukastidega sõiduautodel on tänapäeval kasutusel kahevõllilised käigukastid, kus üks võll on vedav ja teine veetav (joonis 4).



Joonis 1.4. Viiekäigulise manuaalkäigukasti ehitus ja käikude lülituse skeem. [2]

Mõlemal võllil olevad hammasrattad on kaldhammastega ning pidevas hambumises, sest kaldhammasrattaid ei ole võimalik omavahel kokku- ja lahku lülitada. Veetaval võllil olevad hammasrattad on vabalt pöörlevad ja selleks, et neid töösse lülitada kasutatakse sünkronisaatoreid. Sünkronisaatorid aitavad tööle lülitada veetaval võllil vabalt pöörlevaid hammasrattaid, sidudes neid veetava võlli hammasratadega [7].

Olemas on ka järjestiklülitusega manuaalkäigukaste, kus käigud ei paikne tavapärasel „H“ asetusel vaid n-ö ühel joonel. Järjestiklülitusega käigukaste kasutatakse mootorratastel, samuti on sellised käigukastid väga laialdaselt kasutusel ka võidusõiduautodes. Sellistel käigukastidel on vaja sidurit ainult kohapealt ära liikumiseks, aga käikude üles ja alla vahetamiseks seda vaja pole. See on võimalik tänu sirghammasrataste kasutamisele (joonis 1.5).



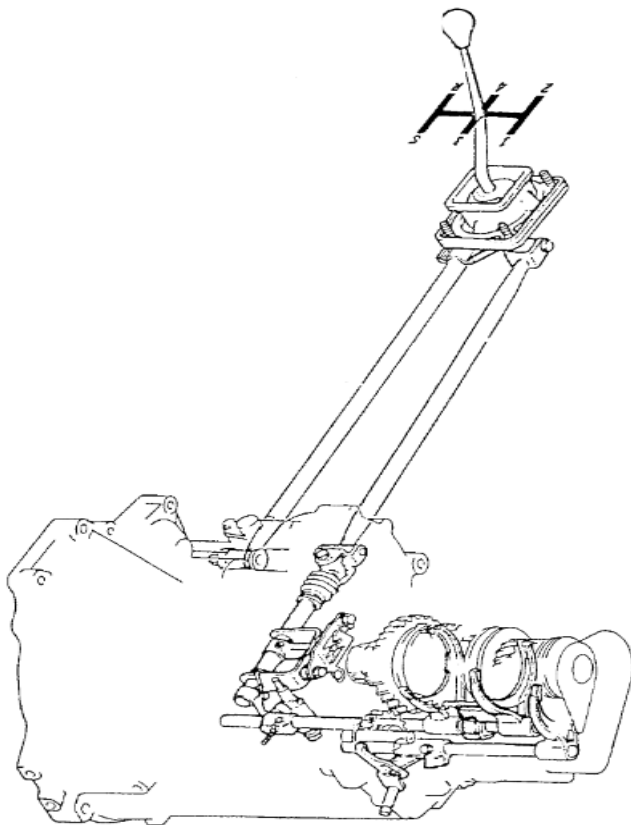
Joonis 1.5. Sirghammastega käigukast. [9]

Käikude lülitus toimub käigukangi edasi või tagasi liigutades. Käigukasti nimi tuleneb sellest, et sellise käigukasti puhul ei ole võimalik käike vahele jätta, näiteks lülitada esimeselt käigult kolmandale vaid kõik käigud tuleb järjest läbi lülitada kuni jõutakse soovitud käiguni [9]. Manuaalkäigukastide puhul on käiguvahetus vigade oht kõige suurem ja see on põhjuseks miks just seda tüüpi käigukastile oleks mõistlik uus käiguvahetusmehhanism projekteerida.

2. MEHCHANISMI MEHAANILISED KOMPONENDID

2.1. Töö eesmärgi kirjeldus

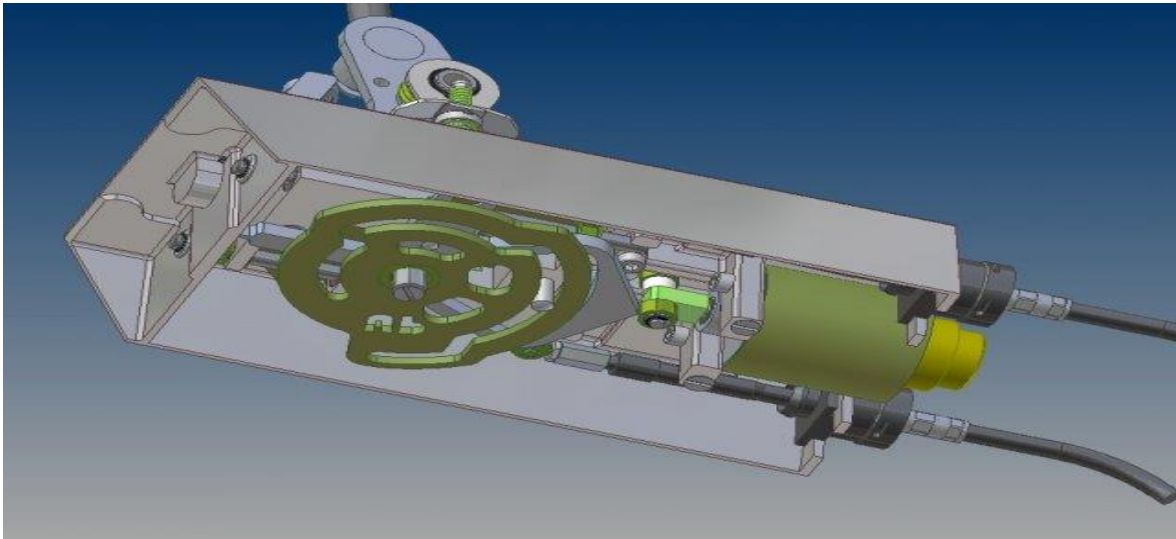
Eesmärgiks on asendada tavapärane manuaalne H – lülitusega käiguvahetusmehhanism (joonis 2.1) pneumaatilise järjestiklülitus lahendusega muutes sel viisil käiguvahetused kiiremaks ja vähendades käiguvahetustel tehtavaid vigu. Antud lahendus projekteeritakse kasutades H – lülitusega MTX 75 manuaalkäigukasti.



Joonis 2.1. H – lülitusega MTX 75 käigukast. [10]

Lisaks projekteeritavale pneumaatilisele lahendusele on võimalik kasutada ka täielikult mehaanilisi lahendusi järjestiklülituse saavutamiseks. Taolised lahendused kasutavad metallist ketast, mille sisse on töödeldud juhtsooned (joonis 2.2) vastavalt käigukastile,

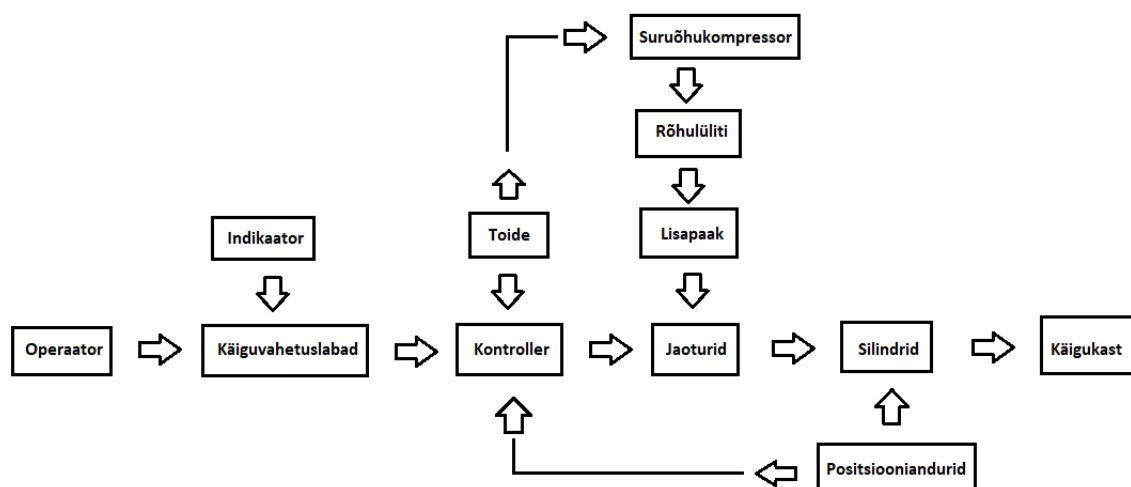
muutes tavapärase H – lülituse järjestiklülituseks. Mitsubishi Evo autode seas, mis on populaarsed võidusõiduks kasutatavad autod, on sellised lahendused väga levinud.



Joonis 2.2. Mitsubishi Evo 4-9 mehaanilise järjestiklülituse lahendus. [11]

Mehaaniliste lahenduste suureks puuduseks on see, et need on mõeldud konkreetsele auto mudelile või käigukastile, st neid ei ole võimalik kasutada erinevate auto mudelite või käigukastide modifitseerimiseks. Projekteeritavat pneumaatilist lahendust on võimalik ümber seadistada mõne muu auto või käigukasti jaoks, mis kasutab H – lülitust. Lisaks võimaldaks pneumaatiline lahendus kiiremaid käiguvahetusi, kui mehaaniline järjestiklülituse lahendus.

Projekteeritava lahenduse põhimõtteskeem on näidatud joonisel 2.3.

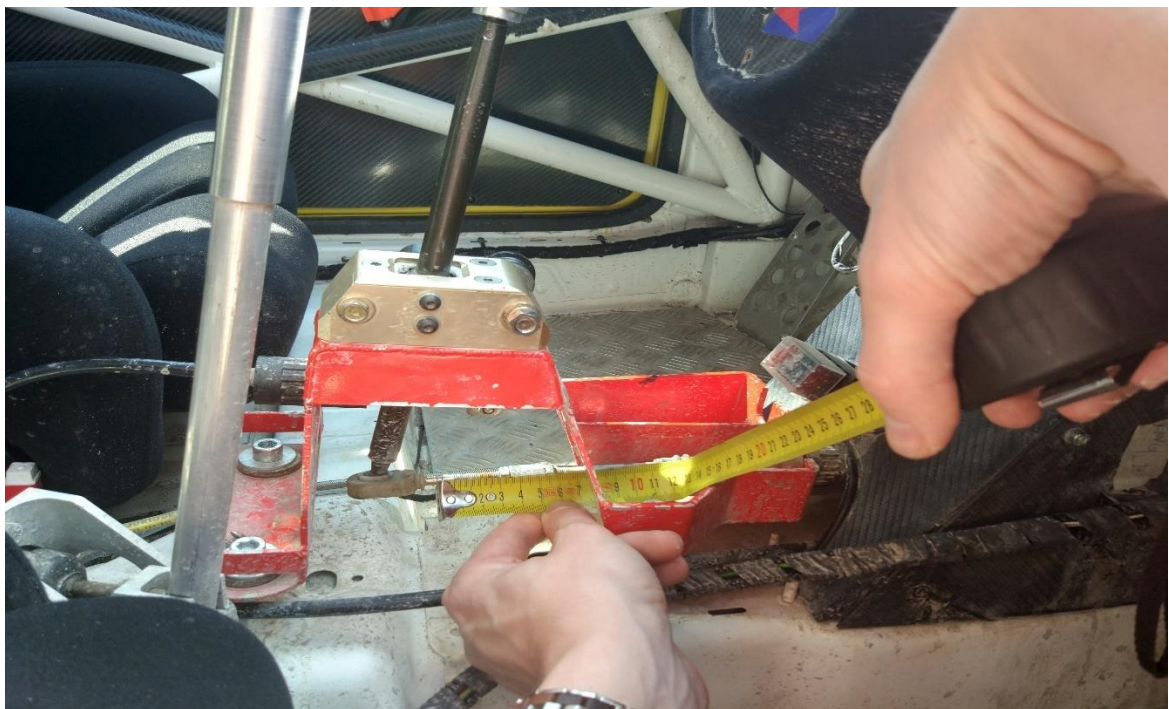


Joonis 2.3. Mehhanismi ehitamiseks vajalikud komponendid ja nendevahelised seosed.

Joonisel 2.3 on kujutatud mehhanismis ehitamiseks vajalikud komponendid. Lisaks on välja toodud komponentide omavahelised seosed, alustades operaatorist, kelleks on sõiduki juht, lõpetades käigukastiga.

2.2. Nõuded projekteeritavale lahendusele

Enne pneumaatilise käiguvahetusmehhanismi projekteerimise alustamist tuli kindlaks teha, kui suurt jõudu on vaja rakendada käikude sisse ja välja lülitamiseks. Kuna projekteeritava mehhanismi üheks eesmärgiks on universaalsus, siis on käesolevas töös lähtutud sellest, et pneumaatilised silindrid peavad olema võimelised rakendama jõudu suuruses vähemalt 100 N, mis tagab eelduslikult piisava jõu erinevat tüüpi manuaalkäigukastide jaoks. Sõltuvalt jõu suurusest saame leida vajaliku läbimõõduga pneumaatilised silindrid. Lisaks tuli ära mõõta käigukangi liikumise vahemaa neutraalasendist vasakule ja paremale (joonis 2.4), et saada teada sellist liikumist asendava pneumaatilise silindri vajaliku töökäigu pikkus.



Joonis 2.4. Käigukangi liikumise vahemaa mõõtmine.

Mõõtmise tulemuseks saadi, et ühe pneumaatilise silindri töökäigu pikkus peab olema vähemalt 20 mm. Sama mõõtmine tuli teostada neutraalasendist üles ja alla liikumist

asendava pneumaatilise silindri töökäigu pikkuse teada saamiseks. Mõõtmiste tulemuseks saadi, et teise pneumaatilise silindri töökäigu pikkus peab olema vähemalt 50 mm.

2.3. Mehhanismi ehitamiseks vajalikud komponendid

2.3.1. Pneumaatilised silindrid

Käesoleva töö alapunktis 2.2 pneumaatilistele silindritele määratud nõuete kohaselt peab ühe silindri töökäigu pikkus olema vähemalt 50 mm ja teisel 20 mm. Samuti on seatud tingimus, et silindrid peavad olema võimelised rakendama 100 N jõudu. Selleks, et valida sobilikud pneumaatilised silindrid, mis eelnevalt määratud nõuetele vastaks, tuleb välja arvutada silindrite kolvi läbimõõt. Pneumaatiliste silindrite normaaltingimustel töötamise rõhuvahemikuks loetakse 400-800 kPa [12].

Teoreetilise jõu valemist avaldatakse pindala:

$$F_{teor} = A \cdot p \rightarrow A = \frac{F_{teor}}{p} = \frac{100}{600000} = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ N} \quad (2.1)$$

kus F_{teor} on silindri poolt arendatav teoreetiline jõud N;

A – kolvi pindala m^2 ;

p – pneumosilindri töö rõhk Pa.

Leitud ringi pindalast avaldatakse kolvi läbimõõt:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,67 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi}} = 0,015 \text{ m}^2 \quad (2.2)$$

kus A on kolvi pindala m^2 ;

D – kolvi läbimõõt m.

Leitud kolvi läbimõõdu ja töökäigu pikkuse järgi valiti sobilik pneumaatiline silinder (joonis 2.5).



Joonis 2.5. NITRA kahepoolse toimega pneumaatiline silinder. [13]

Pneumaatilise silindri parameetrid on järgnevad [13]:

- maksimaalne töö rõhk: 1000 kPa;
- kolvi läbimõõt: 32 mm;
- töökäik: 50 mm;
- kolvivarre läbimõõt: 12 mm.

Veendumaks, et valitud pneumaatiline silinder sobib projekteeritava lahenduse kasutamiseks, tuleb välja arvutada konkreetse seadme jõud.

Valitud silindri kolvi pindala:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (2.3)$$

kus A on kolvi pindala m^2 ;

D – kolvi läbimõõt m.

Teoreetiline jõud leitakse valemist:

$$F_{teor} = A \cdot p = 8,04 \cdot 10^{-4} \cdot 600000 = 482,40 \text{ N} \quad (2.4)$$

kus F_{teor} on silindri poolt arendatav teoreetiline jõud N;

A – kolvi pindala m^2 ;

p – pneumosilindri töö rõhk Pa.

Leitud teoreetilisest jõust tuleb maha arvestada hõõrdejõu tekkimisel kaduma minev jõud, mida normaaltingimustes arvestatakse 10% teoreetilisest jõust [12].

Kahepoolse toimega silindri tegelik jõud kolvi väljaliikumisel:

$$F_{n-välja} = A \cdot p - F_h = 8,04 \cdot 10^{-4} \cdot 600000 - (0,1 \cdot 482,4) = 434,16 \text{ N} \quad (2.5)$$

kus $F_{n-välja}$ on silindri poolt arendatav tegelik jõud kolvi väljaliikumisel N;

A – kolvi pindala m^2 ;

p – pneumosilindri töö rõhk Pa;

F_h – hõõrdejõud (10% F_{teor}) N.

Kolvi sisseliikumisel tuleb arvestada, et suruõhu poolt mõjutatava kolvi pindala on kolvivarre pindala võrra väiksem.

Kolvi kolvivarrepoolne pindala:

$$A' = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,032^2 - 0,012^2)}{4} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (2.6)$$

kus A' on kolvivarrepoolne pindala m^2 ;

D – kolvi läbimõõt m;

d – kolvivarre läbimõõt m.

Kahepoolse toimega silindri tegelik jõud kolvi sisse liikumisel:

$$F_{n-sisse} = A' \cdot p - F_h = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 600000 - (0,1 \cdot 482,4) = 140,16 \text{ N} \quad (2.7)$$

kus $F_{n-sisse}$ on silindri poolt arendatav tegelik jõud kolvi sisse liikumisel N;

A' – kolvivarrepoolne pindala m^2 ;

p – pneumosilindri töö rõhk Pa;

F_h – hõõrdejõud (10% F_{teor}) N.

Lähtudes arvutuste tulemustest, tagab valitud pneumaatiline silinder sisse liikumisel jõu 140,16 N ja välja liikumisel jõu 434,16 N. Kuna valitud silindri töökäigu pikkus on 50 mm, siis vastab valitud silinder projekteeritava käiguvahetusmehhanismi ehitamiseks vajalikele silindritele esitatud nõuetele.

2.3.2. Suruõhukompressor

Projekteeritava mehhanismi tööks on vajalik suruõhk. Kuna reeglina autodes puudub suruõhuallikas, siis tuleb koos käiguvahetusmehhanismiga autosse paigaldada suruõhukompressor. Selleks, et valida sobiv kompressor, tuleb esmalt välja arvutada pneumaatiliste silindrite õhutarve. Arvutusel võetakse eelduseks, et ühe käiguvahetuse jaoks teevad mõlemad silindrid tööd ning minuti jooksul toimub 100 käiguvahetust.

25 millimeetrise töökäiguga silindri õhutarve:

$$Q_1 = 2 \cdot A \cdot s \cdot n \cdot \frac{p_e + p_{amb}}{p_{amb}} = 2 \cdot 8,04 \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot \frac{6 + 1}{1} = 28,14 \frac{l}{min} \quad (2.8)$$

kus Q_1 on silindri õhutarve l/min;

A – kolvi pindala cm^2 ;

s – kolvi käigu pikkus cm;

n – kolvi käikude arv minutis;

p_e – rõhk silindris bar;

p_{amb} – ümbritseva õhu rõhk bar.

10 millimeetrise töökäiguga silindri õhutarve:

$$Q_2 = 2 \cdot A \cdot s \cdot n \cdot \frac{p_e + p_{amb}}{p_{amb}} = 2 \cdot 8,04 \cdot 1 \cdot 100 \cdot \frac{6 + 1}{1} = 11,26 \frac{l}{min} \quad (2.9)$$

kus Q_2 on silindri õhutarve l/min;

A – kolvi pindala cm^2 ;

s – kolvi käigu pikkus cm;

n – kolvi käikude arv minutis;

p_e – rõhk silindris bar;

p_{amb} – ümbritseva õhu rõhk bar.

Kogu õhutarve kahe silindri peale kokku:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 28,14 + 11,26 = 39,40 \frac{l}{min} \quad (2.10)$$

kus Q on kogu õhutarve l/min;

Q_1 – 25 mm töökäiguga silindri õhutarve l/min;

Q_2 – 10 mm töökäiguga silindri õhutarve l/min.

Suruõhukompressori tootlikus peab olema vähemalt 39,4 l/min. Lähtudes sellest nõudest valiti mõõtmelt väike 12 V pingel töötav suruõhukompressor, mida oleks vajadusel võimalik paigutada auto mootoriruumi, et vähendada müra (joonis 2.6).



Joonis 2.6. Suruõhukompressor Air Attack Pro. [14]

Suruõhukompressori parameetrid on järgnevad [14]:

- maksimaalne töö rõhk: 1034 kPa;
- toitepinge 12 V;
- tootlikus: 70 l/min;
- mootori võimsus: 220 W;
- maksimaalne töötsükli aeg: 60 min.

Lisaks suruõhukompressorile tuleb kasutada suruõhu kogumiseks 10 liitri suurust lisapaaki ja rõhulüliti (joonis 2.7).



Joonis 2.7. Suruõhu lisapaak ja rõhulüliti. [15] [16]

Lisapaagi ja rõhulüliti kasutamine võimaldab seadistada kompressori tööd selliselt, et kompressor ei töötaks pidevalt. Kompressor hakkab tööle siis, kui lisapaagis on rõhk langenud alla rõhulülitiga seadistatud minimaalse rõhu ja lakkab töötamast, kui lisapaagis on saavutatud maksimaalne seadistatud rõhk.

2.3.3. Jaoturid

Suruõhu jaotamiseks silindrite vahel kasutatakse jaotureid. Mõlema pneumaatilise silindri jaoks on vaja eraldi jaoturit. Projekteeritava lahenduse puhul on vaja kasutada kahte 5/3 jaoturit, mis on keskasendis suletud (joonis 2.8). Keskasendis suletud jaoturite kasutamine võimaldab silindri kolvi fikseerimist suvalisse soovitud asendisse. Tänu sellele saab silindrite töökäigupikkusi vajadusel reguleerida vastavalt autos kasutatavale käigukastile.



Joonis 2.8. NITRA 5/3 jaotur. [17]

Jaoturi parameetrid on järgnevad [17]:

- toitepinge: 24 V;
- töö rõhk: 150-800 kPa;
- sisendite arv: 5 tk;
- avade läbimõõt: 1/8";
- lülituste positsioone: 3;
- mass: 408 g.

Lisaks nimetatud 5/3 jaoturitele tuleb mõlema pneumaatilise silindri jaoks kasutada kahte 3/2 jaoturit (joonis 2.9), st kokku nelja. Need jaoturid aitavad vältida kolvi edasiliikumist inertsil mõjul pärast käigulülituse lõppemist.



Joonis 2.9. NITRA 3/2 jaotur. [18]

Jaoturi parameetrid on järgnevad [18]:

- toitepinge: 24 V;
- töö rõhk: 150-800 kPa;
- sisendite arv: 3 tk;
- avade läbimõõt: 1/8";
- lülituste positsioone: 2;
- mass: 227 g.

Jaotureid juhitakse elektriliselt, aga vajadusel on võimalik ka mehaaniline juhtimine. Selleks on 5/3 jaoturitel kaks surunuppu ja 3/2 jaoturitel üks surunupp. Mehaaniline juhtimine võimaldab elektrilise rikke korral käike vahetada.

2.3.4. Muud komponendid

Lisaks eelnevalt mainitud pneumaatilistele silindritele, suruõhukompressorile, suruõhu lisapaagile, rõhulülile ja jaoturitele on vaja ühendusvahendeid kõikide nende seadmete omavaheliseks ühendamiseks. Suruõhuvoolikud (joonis 2.10) on vajalikud pneumaatiliste silindrite, jaoturite, lisapaagi ja suruõhukompressori ühendamiseks.



Joonis 2.10. NITRA PU18BLU100 suruõhuvoolik. [19]

Kiirliitmikud (joonis 2.11) on vajalikud komponentide ja suruõhuvooliku ühendamiseks. Nende abil tagatakse komponentide võimalikult kiire ja mugav lahti ning kokku monteerimine, kui selleks peaks vajadus tekkima.



Joonis 2.11. NITRA MS14-18N kiirliitmik. [20]

Lisaks kasutatakse jaoturite väljalaskeavades mürasummuteid (joonis 2.12).



Joonis 2.12. NITRA SBC-18N mürasummuti. [21]

Mürasummuteid kasutatakse selleks, et vähendada müra ning tolmu või mõne muu võõrkeha sattumist jaoturisse. Lisaks tuleb arvestada asjaoluga, et käiguvahetusmehhanismi ehituse käigus võib tekkida vajadus mõne käesolevas töös mitte nimetatud ühendusvahendi kasutamiseks.

3. MEHCHANISMI JUHTIMIS KOMPONENDID

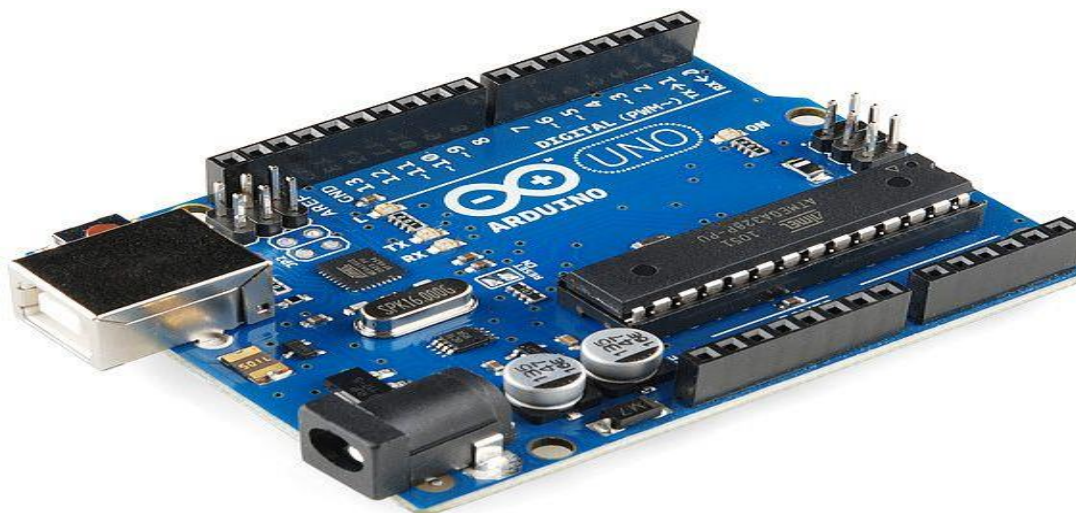
3.1. Mikrokontroller

Mikrokontroller on miniarvuti, mille puhul on tegu integraalskeemiga, mis sisaldab endas protsessorit, mälu ning sisend- ja väljundliideseid. Mikrokontrollerit saab programmeerida mingit kindlat ülesannet täitma. Funktsionaalsuse muutmiseks või täiendamiseks tuleb lihtsalt uus tarkvara kiibile peale laadida [22]. Tabelis 3.1 on välja toodud kolme tuntuima mikrokontrolleri võrdlus, mida oleks potentsiaalselt võimalik kasutada käesoleva lõputöö raames projekteeritava lahenduse juhtimiseks.

Tabel 3.1. Mikrokontrollerite võrdlus [23]

Nimi:	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone Black
Hind:	29 €	33 €	50 €
Protsessor:	ATmega328	ARM1176JZF-S	Sitra AM3359A ARM Cortex-A8
Protsessori kiirus:	16 MHz	700 MHz	1 GHz
Analoog klemme:	6	0	7
Digitaal klemme:	14	8	65
Mälu:	SRAM 2 Kb – EEPROM 1 Kb	RAM 512 Mb	DRAM 512 Mb DDR3L, eMMC 2 Gb

Projekteeritava pneumaatilise käiguvahetusmehhanismi lahenduse jaoks valitakse mehhanismi juhtimiseks Arduino Uno mikrokontroller (joonis 3.1).



Joonis 3.1. Mikrokontroller Arduino Uno. [23]

Mikrokontrolleri parameetrid on järgnevad [24]:

- toitepinge: 5 V;
- sisendi/väljundi pinge: 5 V;
- digitaal sisendid/väljundid: 14 tk;
- analoog sisendid: 6 tk;
- mass: 25 g.

Valiku põhjuseks on Arduino Uno suur populaarsus ja madal hind võrreldes tabelis 3.1 võrreldud mikrokontrolleritega. Tänu sellele on internetis palju programmide kirjutamise õpetusi, mida kõik huvilised saavad kasutada.

3.2. Silindrite positsiooniandurid

Positsiooniandurid on vajalikud pneumaatilise silindri kolvi asukoha määramiseks. Kolvi asukoha määramine on oluline juhtprogrammi kirjutamisel, sest olenevalt kolvi hetke positsioonist määratakse selle vajalikus suunas liikumine või paigalseis, mis kõik sõltub sisselülitatud käigust. Piltlikult öeldes jaotatakse silinder positsioonianduritega kolmeks: algpunkt, keskpunkt ja lõpp-punkt. Seda on võimalik saavutada kasutades kas kolme üksikut positsiooniandurit (joonis 3.2) või ühte lineaarset positsiooniandurit (joonis 3.3).



Joonis 3.2. Sick MPS-T positsiooniandur. [25]



Joonis 3.3. Sick MPA lineaar positsiooniandur. [26]

Projekteeritava lahenduse puhul kasutatakse mõlema pneumaatilise silindri jaoks Sick MPA lineaar positsiooniandurit.

Lineaar positsioonianduri parameetrid on järgnevad [26]:

- korpuse pikkus: 109 mm;
- mõõte vahemik: 107 mm;
- toitepinge: 15-30 V;
- analoog väljund: 0-10 V;
- juhtme pikkus: 30 mm;
- silindri tüüp: universaalne.

Põhjus, miks kasutada lineaar positsiooniandurit, on üksikute positsiooniandurite tülikas reguleerimine juhul, kui projekteeritavat mehhanismi soovitakse kasutada mõne muu käigukastiga. Lisaks tuleks mõlema pneumaatilise silindri jaoks kasutada kokku kuute andurit, aga lineaar positsioonianduri puhul on vajalik ainult kahe anduri kasutamine. Tänu sellele on ka väiksem tõenäosus mõne anduri purunemiseks.

3.3. Käikude lülitus

Käigukangi asendamisel projekteeritava pneumaatilise lahendusega, on sõidukijuhile vaja uut moodust käikude lülitamiseks. Selleks kinnitatakse kas roolisamba või rooli külge käiguvahetuslabad (joonis 3.4).

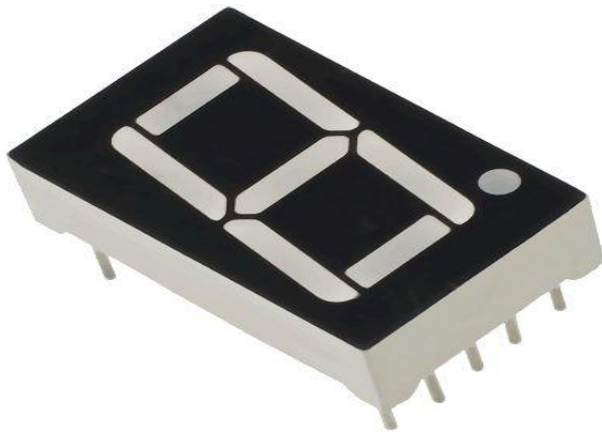


Joonis 3.4. Käiguvahetuslabad. [27]

Käiguvahetus toimub labasid rooli poole tõmmates. Käiguvahetuslabad märgistatakse „–“ ja „+“ tähistustega, kus „–“ valib järgmise madalama käigu ja „+“ valib järgmise kõrgema käigu.

3.4. Indikaator käikude kuvamiseks

Tavapärase H – lülituse puhul on käigukangi peale märgitud käikude asukohta kujutav asendiskeem. Selle järgi on võimalik sõltuvalt käigukangi asendist kindlaks teha, milline käik on parasjagu sisse lülitatud. Projekteeritava lahenduse puhul ei ole võimalik sel viisil lülitatud käike kindlaks teha, sest käigukang puudub. Selleks tuleb kasutada indikaatorit, mis näitab hetkel sisselülitatud käiku (joonis 3.5).



Joonis 3.5. Seitsmesegmendiline indikaator. [28]

Sarnaseid indikaatoreid võib leida igasugustes elektroonilistes seadmetes, kus on vaja kuvada arvandmeid, näiteks digitaalsed käekellad.

3.5. Alalispingemuundur

Tulenevalt projekteeritavas lahenduses kasutatava mikrokontrolleri ja teiste elektriliselt juhitavate seadmete tööpingete erinevustest, ei tööta juhtimissüsteem ilma alalispingemuunduriteta (joonis 3.6).



Joonis 3.6. Alalispingemuundur. [29]

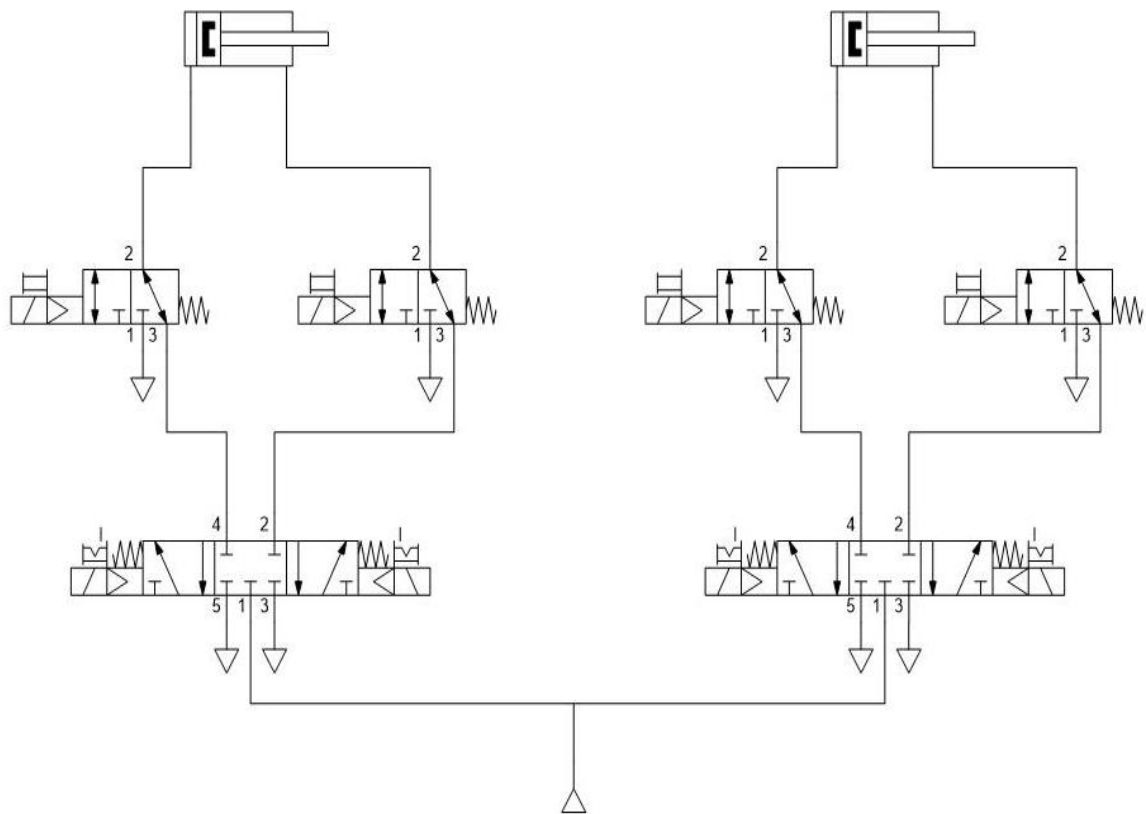
Alalispingemuunduri parameetrid on järgnevad :

- sisendpinge vahemik: 3,8-32 V;
- väljundpinge vahemik: 1,25-35 V;
- töö temperatuuri vahemik: -40 °C ~ +85 °C.

Alalispingemuunduritega on võimalik nende sisendisse antavat pinget reguleerida väljundis kas kõrgemaks või madalamaks. Projekteeritava lahenduse puhul on vaja pinget kõrgemaks muuta, sest kontrolleri sisend- ja väljundpinge on 5 V, kuid kasutatavate jaoturite toitepinge on 24 V ja lineaar positsiooniandurite toitepinge on 15-30 V.

3.6. Juhtimisskeemid

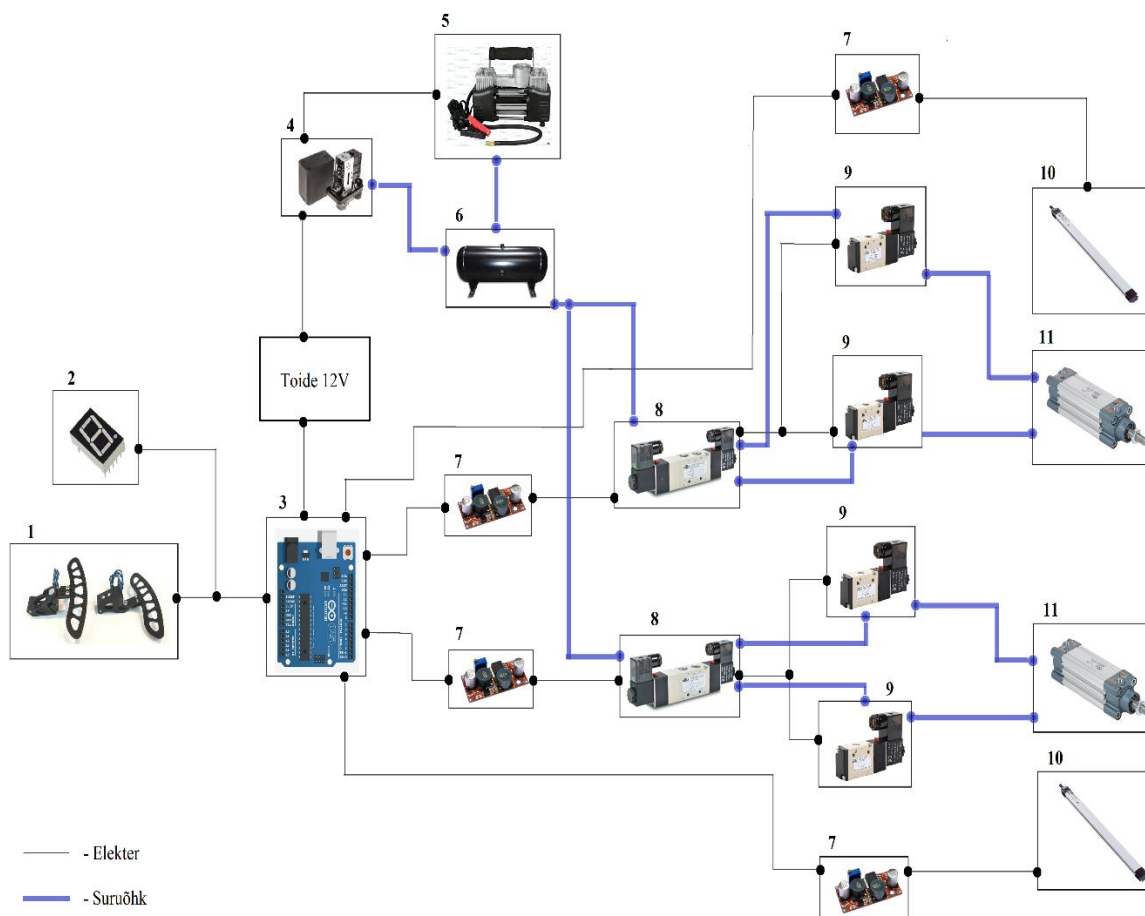
Joonisel 3.7 on kujutatud eelnevalt valitud pneumaatiliste silindrite, 5/3 jaoturite ja 3/2 jaoturite pneumaatiline ühendusskeem.



Joonis 3.7. Jaoturite ja pneumaatiliste silindrite ühendusskeem.

Mõlemad 5/3 jaoturid saavad suruõhu pealevoolu ühest ja samast kohast milleks projekteeritava lahenduse puhul on suruõhu lisapaak. Järgnevalt on mõlema 5/3 jaoturi külge ühendatud kaks 3/2 jaoturit, mis on omakorda ühendatud pneumaatilise silindriga.

Joonisel 3.8 on kujutatud kõikide valitud komponentide omavahelised elektrilised ja pneumaatilised seosed ja ühendused.



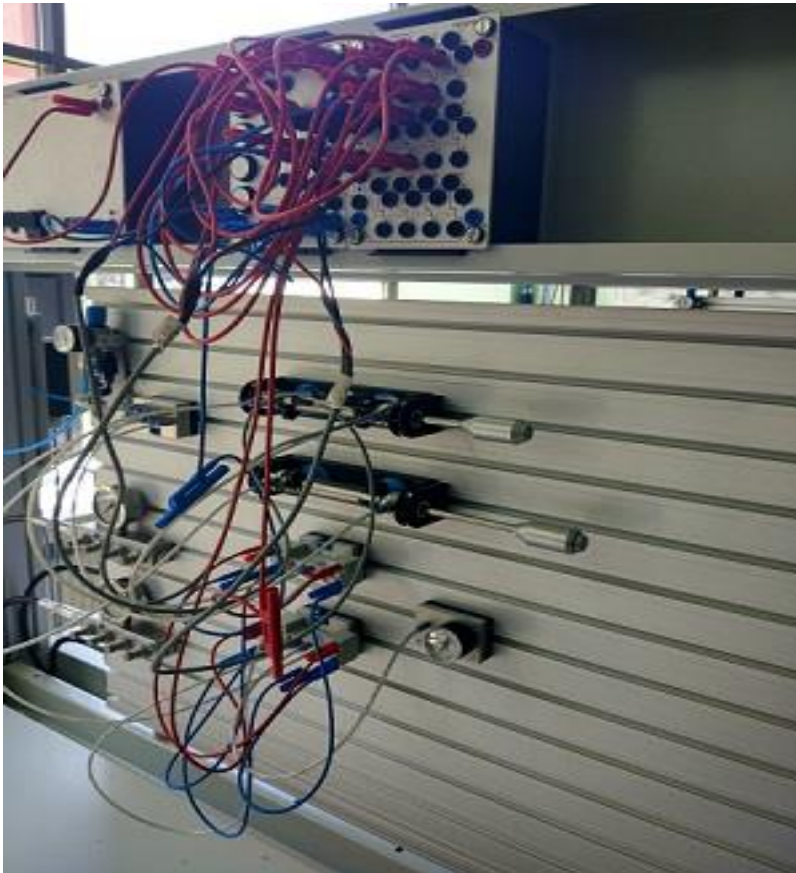
Joonis 3.8. Valitud komponentide omavahelised ühendused: 1 – käiguvahetuslabad; 2 – indikaator; 3 – kontrolleri; 4 – rõhulüliti; 5 – suruõhukompressor; 6 – lisapaak; 7 – alalispingemuundur; 8 – 5/3 jaotur; 9 – 3/2 jaotur; 10 – lineaar positsiooniandur; 11 – pneumaatiline silinder.

Mehhanismi juhtimine saab alguse läbi käiguvahetuslabade tõmbamisega, mis saadavad kontrolleri signaali käigu vahetamiseks. Käiguvahetuslabade ja kontrolleri ühenduses indikaator, mis kuvab sisselülitatud käigu. Kontrolleri saab elektritoite sõidukis kasutatavast 12 V elektrisüsteemist. Suruõhukompressor saab elektritoite samuti sõiduki elektrisüsteemist, kuid see toide läbib rõhulüliti. Suruõhukompressori külge on ühendatud lisapaak, mille küljes on rõhulüliti, mis sõltuvalt lisapaagis olevast rõhust kas ühendab või katkestab suruõhukompressori elektritoite. Lisapaagist saavad suruõhu pealevoolu 5/3 jaoturid, kust suruõhk liigub läbi 3/2 jaoturite lõpuks pneumaatiliste silindriteni. Kontrolleri liigub elektriline signaal jaoturiteni läbi alalispingemuundurite. Lineaar

positsiooniandurite ja kontrolleri vaheline suhtlus toimub samuti läbi alalispingemuundurite, tulenevalt nende tööpingete erinevusest.

3.7. Katse laborikeskkonnas

Veendumaks projekteeritava pneumaatilise mehhanismi lahenduse toimimises, tehti Eesti Maaülikooli pneumatika laboris mehhanismi tööpõhimõtet imiteeriv katse (joonis 3.9).



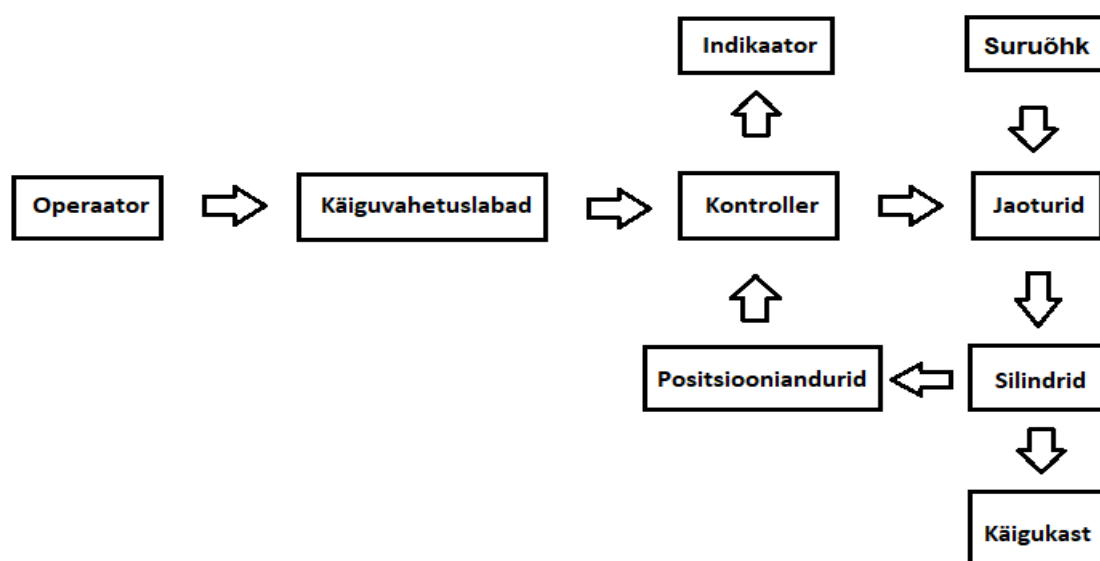
Joonis 3.9. Mehhanismi tööpõhimõtte katsetus.

Katse eesmärgiks oli imiteerida pneumaatiliste silindrite tööd ja projekteeritava mehhanismi juhtimist, veendumaks projekteeritava käiguvahetusmehhanismi toimimises. Selleks ühendati esmalt kõik mehhanismi vajalikud komponendid. Seejärel jälgendati erinevate käikude lülitusi ning jälgiti, kas silindrite tööd oli võimalik positsiooniandurite abil peatada kolmes erinevas töökäikude pikkusi jälgendavas asukohas. Laboris puudusid täpselt samasugused jaoturid ja positsiooniandurid nagu on käesolevas töös valitud. Tänu sellele tuli hakkama saada olemasolevate komponentidega, mis muutsid mehhanismi ja katse

teostamise keerulisemaks. Olenemata katse teostamise raskendatud asjaoludest suudeti katse käigus mehhanismi tööpõhimõtte toimimist kinnitada. Katse käigus juhti silindrite kolvi liikumist viisil, mis võimaldas erinevate käikude sisse ja välja lülitamist.

3.8. Käikude lülitus

Käiguvahetusmehhanismi tööd kujutav skeem on näidatud joonisel 3.10.



Joonis 3.10. Käiguvahetusmehhanismi tööd kirjeldav skeem.

Käiguvahetusmehhanism käivitub sel hetkel, kui autol lülitatakse süüde sisse või kui auto käivitatakse. Mehhanismi sisendiks on käiguvahetuslabad, mida kasutab sõiduki operaator ehk juht. Käiguvahetuslabade tõmbamisega saadetakse signaal kontrolleriile käigu lülitamiseks. Kontroller juhib käiguvahetusmehhanismi tööd käikude lülitamiseks. Kui kontroller on saanud käskluse käigu lülitamiseks, saadab kontroller omakorda signaali vastavatele jaoturitele. Sõltuvalt lülitatud käigust juhitakse jaoturitesse tulevat suruõhku edasi silindriteni, mis on mehhanismi väljundiks. Seejärel toimub käigukastis käigu lülitus. Positsiooniandurid saadavad kontrolleriile signaali, kui silindrite kolvid on jõudnud määratud asukohta, pärast mida katkestab kontroller jaoturitele saadava signaali. Sellega katkeb silindriteni juhitud suruõhk. Positsioonianduritelt saab kontroller info silindrite kolvide asukoha kohta, misjärel kuvab see käigu numbri indikaatoril.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli pakkuda H-lülitusega manuaalkäigukastile pneumaatiline järjestiklülitusega käiguvahetusmehhanismi lahendus.

Töö eesmärgi saavutamiseks, tutvuti esmalt nii manuaalkäigukasti kui ka automaatkäigukastide ehituse ja olemusega. Seejärel uuriti võimalusi, kuidas on võimalik saavutada järjestiklülitus ning tutvuti pneumaatiliste komponentidega. Järgnevalt toodi välja nõuded projekteeritavale lahendusele, mille alusel valiti välja pneumaatilised silindrid ja muud mehhanismi ehitamiseks vajalikud komponendid.

Töö käigus nähtus, et H-lülitusega manuaalkäigukastile pneumaatilise järjestiklülitusega käiguvahetusmehhanismi lahenduse ehitamiseks tuleb kasutada pneumaatilisi silindreid, mis peavad olema võimelised rakendama jõudu vähemalt 100 N ning millest ühe töökäigu pikkus peab olema vähemalt 50 mm ja teisel vähemalt 20 mm. Sobivate silindrite leidmiseks tuli esmalt arvutada silindrite kolvi läbimõõt ja seejärel konkreetse väljavalitud seadme jõud. Peale pneumaatiliste silindrite on pakutava käiguvahetusmehhanismi lahenduse ehitamiseks vajalik suruõhukompressor koos lisapaagi ja rõhulülitiga, jaoturid, suruõhuvoolikud, kiirliitmikud, mürasummutid ja muud ühendusvahendid.

Mehhanismi juhtimiseks valiti käesoleva lõputöö raames välja Arduino Uno mikrokontroller, mis on üks populaarsemaid ja kergesti kättesaadavamaid mikrokontrollereid. Peale selle on mehhanismi juhtimiseks vajalikeks komponentideks silindrite positsiooniandurid. Käesolevas töös projekteeritavas lahenduses otsustati praktilistel kaalutlustel lineaarsete positsiooniandurite kasuks. Käikude füüsiliseks vahetamiseks juhi poolt on vajalikud käiguvahetuslabad ning indikaator käikude kuvamiseks. Kuna projekteeritavas lahenduses kasutatava mikrokontrolleri ja teiste elektrilisel juhitud seadmete tööpinged on erinevad, siis süsteem ei saa töötada ilma alalispingemuunduriteta.

Pärast mehaaniliste- ja juhtimiskomponentide valikut, töötati välja jaoturite ja pneumaatiliste silindrite ühendusskeem ning toodi välja kõikide valitud komponentide omavahelised elektrilised ja pneumaatilised seosed ning ühendused, samuti kirjeldati kogu projekteeritud mehhanismi tööpõhimõtet.

Viimaks katsetati projekteeritud tööpõhimõtet laborikeskkonnas selleks, et veenduda pneumaatilise mehhanismi lahenduse toimimises. Selleks korraldati Eesti Maaülikooli pneumaatika laboris mehhanismi tööpõhimõtet imiteeriv katse, mille tulemusena selgus, et projekteeritud pneumaatiline mehhanism tõepoolest toimib.

Kuna käesoleva lõputöö raames püstitatud eesmärk sai täidetud, pneumaatiline järjestiklülitusega käiguvahetusmehhanism edukalt projekteeritud ning veenduti selle reaalses toimimises, siis plaanib käesoleva töö autor edasiste õpingute raames lahenduse ka reaalselt valmis ehitada.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Automaatkäigukast ja käigukastide tüübid. (2018). Hõbenool. <https://www.hobenool.eu/automaatkaigukast-ja-kaigukastide-tuubid/>. (27.04.2018).
2. Autonduse käsiraamat. (2014). /Toim. L. Abo, E. Hendre, J. Lavrentjev, K. Möller, H. Ots. Tallinna Raamatutrükikoda. 731 lk.
3. Planetaar-automaatkäigukast. (2018). Hõbenool. <https://www.hobenool.eu/planetaar-automaatkaigukast/>. (30.04.2018).
4. Types of Transmissions and How They Work. (2018). Transmission repair cost guide. <https://www.transmissionrepaircostguide.com/types-of-transmissions/>. (27.04.2018).
5. Variaatorkäigukast (CVT – Continuously Variable Transmission). (2018). Hõbenool. <https://www.hobenool.eu/variaatorkaigukast-cvt-continuously-variable-transmission/>. (30.04.2018).
6. Topeltsiduriga käigukast (DCT ehk Dual-Clutch Transmission). (2018). Hõbenool. <https://www.hobenool.eu/topeltsiduriga-kaigukast-dct-ehk-dsg/>. (01.05.2018).
7. Käigukast. (2018). V. Kokkota. http://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/2911/K%C3%A4igukast,%20koordisti,%20jaotuskast.pdf. (28.04.2018).
8. PS7-GT PORSCHE SEQUENTIAL GEARBOX 7 speed. (2018). KAPS Závodní převodovky. <http://www.kaps-transmissions.com/products-porsche-7-speed-gearbox.html>. (20.05.2018).
9. How Sequential Gearboxes Work. (2003). HowStuffWorks. <https://auto.howstuffworks.com/sequential-gearbox.htm>. (01.05.2018).
10. Manual Transmission & Transaxle Operation Self-Study. (2000). Ford Customer Service Division. <http://144.162.92.233/faculty/mwhitten/presentations/2313/36s03s0.pdf>. (01.05.2018)
11. DLI-TEKNIK. (2018). <http://www.dli-teknik.se/index.php?section=products&subsection=7&cat=31&s1cat=901&s2cat=2841&showprod=17774&lang=sv>. (04.05.2018).
12. Pneumaatika ja hüdraulika alused - ekursus - Pneumosilindrite mõõtmete määramine. (2018). Hariduskeskus. http://www2.hariduskeskus.ee/opiobjektid/pneumaatika_ja_hudraulika_alused/?KURSUSE_TEEMAD:PNEUMAATIKA.:Pneumosilindrite_m%C5%F5tmete_m%E4%E4ramine%20nbspp%3B. (05.05.2018).

13. Pneumatic Air Cylinder. (2018). AutomationDirect.
[https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Pneumatic_Air_Cylinders/ISO_15552_Air_Cylinders_\(G-Series\)/G32M050MD-MC](https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Pneumatic_Air_Cylinders/ISO_15552_Air_Cylinders_(G-Series)/G32M050MD-MC). (05.05.2018).
14. AIR ATTACK PRO COMPRESSOR CAR 4X4 4WD 70L FLOW LITRE 12V VOLT PROJECTA BT200. (2018). AUTOELEC. <https://www.autoelec.com.au/air-attack-pro-compressor-car-4x4-4wd-70l-flow-lit>. (10.05.2018).
15. Air Compressors & Air Tools: AIR-FLOW 10 LITRE AIR SUSPENSION COMPRESSOR TANK. (2018). Pinnacle Wholesalers. <https://www.pinnaclewholesalers.com.au/tools-and-machinery/air-compressors/air-flow-10-litre-air-suspension-compressor-tank.html>. (10.05.2018).
16. Telemecanique Sensors Differential Pressure Sensor, 12bar Max Pressure Reading, G1/4, IP54. (2018). Telemecanique Sensors. <https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/0199399/>. (10.05.2018).
17. Pneumatic AVS Directional Control Solenoid Valves. (2018). AutomationDirect. <https://cdn.automationdirect.com/static/specs/nitradiirectionsolenoidavs5.pdf>. (15.05.2018).
18. AVS-3211-24D Pneumatic Solenoid Valve: 3-port (3-way), 24 VDC. (2018). AutomationDirect. [https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Pneumatic_Valves_-a_Accessories/General_Purpose_Solenoid_Directional_Control_Air_Valves/3-port_\(3-way\),_2-pos.,_Body_Ported_-z-_Manifold_\(AVS-3,AM_Series\)/AVS-3211-24D](https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Pneumatic_Valves_-a_Accessories/General_Purpose_Solenoid_Directional_Control_Air_Valves/3-port_(3-way),_2-pos.,_Body_Ported_-z-_Manifold_(AVS-3,AM_Series)/AVS-3211-24D). (20.05.2018).
19. PU18BLU100 Pneumatic Tubing: 0.062in inside diameter, 1/8in outside diameter. (2018). AutomationDirect.
[https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Flexible_Pneumatic_Tubing_-a_Hoses/Straight_Polyurethane_\(PUR\)_Tubing/1-z-8_inch/PU18BLU100](https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Flexible_Pneumatic_Tubing_-a_Hoses/Straight_Polyurethane_(PUR)_Tubing/1-z-8_inch/PU18BLU100). (22.05.2018).
20. MS14-18N Pneumatic Push-to-connect Fitting: 5/pk, straight. (2018). AutomationDirect. [https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Push-to-Connect_NPT_Pneumatic_Fittings_\(Thermoplastic\)/Male_Straight_\(Hex_Body\)/MS14-18N](https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Push-to-Connect_NPT_Pneumatic_Fittings_(Thermoplastic)/Male_Straight_(Hex_Body)/MS14-18N). (22.05.2018).
21. SBC-18N Exhaust Silencer: sintered bronze, cone. (2018). AutomationDirect. https://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Pneumatic_Components/Pneumatic_Accessories/Bronze_Exhaust_Silencers/SBC-18N. (22.05.2018).
22. Mikrokontrollerid ja robootika. (2018). Roboticlub. <http://home.roboticlub.eu/et/microcontrollers>. (11.05.2018).
23. Maker Shed: Arduino, Raspberry Pi, 3D Printers, Microcontroller Kit. (2018). Maker Shed. <https://www.makershed.com/pages/microcontroller-comparison>. (11.05.2018).
24. Arduino Uno. (2018). Arduino. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. (11.05.2018).

25. MPS-032TSTU0 Magnetic cylinder sensors SICK. (2018). SICK.
<https://www.sick.com/ag/en/magnetic-cylinder-sensors/position-sensors/mps-t/mps-032tstu0/p/p230364>. (11.05.2018).
26. MPA-107THTP0 Magnetic cylinder sensors SICK. (2018). SICK.
<https://www.sick.com/ag/en/magnetic-cylinder-sensors/position-sensors/mpa/mpa-107thtp0/p/p305805>. (11.05.2018).
27. Sim Racing Paddle Shifters set made from aluminum and carbon fiber. (2018). Etsy.
https://www.etsy.com/listing/516751972/sim-racing-paddle-shifters-set-made-from?utm_source=OpenGraph&utm_medium=PageTools&utm_campaign=Share.
 (11.05.2018).
28. 7-Segment Display Interfacing with Arduino UNO. (2018). ElectronicWings.
<http://www.electronicwings.com/arduino/7-segment-display-interfacing-with-arduino-uno>.
 (11.05.2018).
29. Buck Boost Converter Solarbotics. (2018). Solarbotics. <https://solarbotics.com/product/40406/>.
 (11.05.2018).

SUMMARY

The main purpose of this thesis was to offer a pneumatic sequential gear shifting mechanism solution for a H-pattern gearbox. This solution helps to minimize errors, which are made during gear shifting process and also to reduce the gear shifting time. Pneumatic solution was chosen because pneumatic components and their control units are nowadays widely available, which is why all interested people can quite easily build this solution themselves. One goal, which was set for this solution projected in this thesis, was universality. This means that the solution had to be projected in a way that the final mechanism would be applicable in different types of gearboxes.

This thesis is divided into three chapters. The first one gives an overview of different types of gearboxes. In the second chapter, the goal of this project is specified, some requirements for the mechanical components of this solution are presented and suitable mechanical components are selected based on previously described requirements. The third chapter focuses on the selection of controlling components and on a test which is carried out in a laboratory environment.

In order to fulfil the purpose of this thesis, firstly an overview about manual and automatic transmission was given, also different ways to achieve sequential gear shifting mechanism with pneumatic components were researched. In order to build a pneumatic sequential gear shifting mechanism for a H-pattern gearbox, pneumatic cylinders have to be able to implement force equal to at least 100 N and the stroke length has to be in one case at least 50 mm and in other 20 mm. In order to choose suitable cylinders, piston diameter and the force had to be calculated. Besides pneumatic cylinders, air compressor with extra air tank and pressure switch, pneumatic solenoid valves, pneumatic tubes, pneumatic push-to-connect fittings, exhaust silencers and other connecting tools are needed.

Arduino Uno microcontroller was chosen for the project of this thesis, because it's one of the most popular and easily obtainable microcontroller. Besides the microcontroller, cylinder position sensors are needed in order to control this mechanism. For this project linear position sensors were chosen for practical reasons. Other necessary components are gear shifting paddles and an indicator for displaying gears. Since the working voltage of the

microcontroller and other electrical components is different, a DC converter is also necessary.

After the selection of mechanical and control components, connection scheme for pneumatic solenoid valves and pneumatic cylinders was developed and all the electric and pneumatic connections were shown. The work operation for the whole mechanism was also described. Finally a test in a laboratory environment was carried out. As a result of this experiment, it was found out, that the solution of the gear shifting mechanism is achievable. The author of this thesis plans to build the mechanism which was projected during this study.

LIHTLITSENTS

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1) annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on _____,

(*juhendaja nimi*)

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sh digitaalarhiivis DSpace säilitamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2) olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3) kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)